УДК 614.8.84 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-43-49

Анализ и оценка уровня безопасности портовых сооружений на примере склада хранения серы

Л. Е. Пустовая, В. А. Чебышева
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. В статье рассмотрены проблемы анализа и оценки уровня безопасности опасных производственных объектов портовых сооружений, оказывающих негативное воздействие как на окружающую среду, так и на работающий на объекте персонал. Такого рода объекты относят к первому классу опасности и требуют комплексной оценки их устойчивости к чрезвычайным ситуациям.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является комплексный анализ уровня безопасности наиболее уязвимых участков технологического процесса портовой деятельности.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации использованы результаты плановой проверки АО «Усть-Донецкий порт», проведённой Росприроднадзором.
Выводы. По результатам расчетов установлено, что вероятность реализации аварийной ситуации для наиболее опасного сценария составляет $2{,}4\times10^{-8}$ и соответствует зоне приемлемого риска.

Ключевые слова: аварийная ситуация, анализ производственных факторов, безопасность, дерево событий, ущерб, расчет вероятности реализации аварийной ситуации.

Для цитирования: Пустовая, Л. Е. Анализ и оценка уровня безопасности портовых сооружений на примере склада хранения серы / Л. Е. Пустовая, В. А. Чебышева // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 2. — С. 43−49. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-43-49

Analysis and assessment of the safety level of port facilities using the example of a sulfur storage warehouse

L. E. Pustovaya, V. A. Chebysheva
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article deals with the problems of analysis and assessment of the safety level of hazardous production facilities of port facilities that have a negative impact on both the environment and the personnel working at the facility. Objects of this kind are referred to the first class of hazard; therefore, they require a comprehensive assessment of their resistance to emergencies in terms of the likelihood of their occurrence in specific industrial conditions.
Problem Statement. The objective of this study is a comprehensive analysis of the safety level of the most vulnerable areas of the technological process of port activities.
Theoretical Part. The results of a scheduled inspection of the AO "Ust-Donetsk Port" conducted by the Federal Service for Supervision of Natural Resources were used as basic information.
Conclusion. Based on the calculation results, it was found that the probability of an emergency for the most dangerous scenario is 2.4×10-8 and corresponds to the acceptable risk zone.

Keywords: emergency, production factors analysis, safety, event tree, damage, calculation of the emergency probability.

For citation: Pustovaya L. E., Chebysheva V. A. Analysis and assessment of the safety level of port facilities using the example of a sulfur storage warehouse; Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021;2:43-49. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-43-49

Введение. В настоящее время наблюдается значительный прогресс в области портовой деятельности. Увеличение объемов транспортировки и перевалки грузов усиливает потребность в повышении экологической безопасности деятельности морских и речных портов. Проблема негативного воздействия операций перевалки и хранения грузов в портах на окружающую природную среду и производственную безопасность в полной мере на сегодняшний день не решена. Наиболее опасным фактором является пыление и пылеунос при хранении на открытых складах и перегрузочных операциях сыпучих грузов [1, 2]. Помимо этого, пыль горючих материалов

в определенных условиях может создать взрывоопасные аэрозоли. Также известно, что при разгрузке и загрузке как навалочных, так и насыпных грузов часто возможны судовые потери объема груза, которые могут оказать пагубное воздействие на атмосферный воздух, почву и водный объект [3].

Усть-Донецкий порт — крупнейший речной порт на юге России, который расположен на правом берегу протоки Сухой Донец. Общая протяженность причального фронта составляет более 1100 м. Порту присвоены высокая категория риска и второй класс опасности. Основными производственными циклами являются стивидорные операции; открытое и закрытое складское хранение грузов; комплексная логистика; пакетирование грузов в биг-беги, а также обслуживание флота, включающего в себя процессы производства, ремонтных работ и обеспечения береговым электропитанием. Перегрузка грузов осуществляется на борт плавательных средств с использованием крана с грейфером, плавкрана с грейфером и теплохода, методом «вагон-судно» и/или «склад-судно». Структура характеризуется преобладанием навалочных, генеральных и химических грузов. Многие из них являются опасными по ГОСТ 19 433–88, например, сера, объёмы перевалки которой доходят до 1,5 млн. тонн в год. Исходя из вышеизложенного, для организации хранения и перегрузки грузов, в том числе относящихся к категории опасных, порт должен быть обеспечен экологической инфраструктурой и соответствовать требованиям промышленной безопасности. Для распознавания вероятной опасности следует определить, какие ключевые элементы, технические системы или процессы в технологической схеме перегрузки значительно нуждаются в анализе с точки зрения минимизации экологического риска возникновения аварийных ситуаций, в том числе, в случае чрезвычайных погодных условий [4].

Данное исследование посвящено определению вероятности реализации аварийной ситуации по наиболее опасному сценарию.

Постановка задачи. Для решения поставленной задачи необходимо провести анализ технологического процесса на наиболее опасном участке, связанном с приёмкой, хранением и перегрузкой пожаровзрывоопасного вещества — серы. Определение комплекса параметров данного вида груза позволит провести оценку уровня производственной безопасности и вероятность реализации аварийной ситуации по наиболее опасному сценарию.

Теоретическая часть. Для проведения расчетов необходимо установить эколого-токсикологические параметры пыли серы и особенности её поведения в окружающей среде. Сера техническая газовая (комовая, гранулированная) — горючее твердое кристаллическое вещество, воспламеняется от искр и открытого пламени. Предельно допустимая концентрация серы в рабочей зоне — 6 мг/м^3, максимальная разовая — 0,03мг/м^3, среднесуточная— 0,005 мг/м^3. По степени влияния на организм человека сера относится к 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.005–88. При продолжительном ингаляционном воздействии серы в концентрациях, превышающих ПДК в воздухе рабочей зоны, вероятно развитие хронических отравлений, характеризующихся расстройствами нервной системы, желудочно-кишечного тракта, нарушениями функции легких [5]. Данный опасный фактор нивелируется, главным образом, применением СИЗ.

Не менее важным при оценке уровня безопасности склада серы является ее пожаро- и взрывоопасность [6, 7], что предопределяет необходимость организации особых мер промышленной безопасности в технологии портового перегрузочного процесса [8]. Для научной разработки таких мер необходимо провести оценку риска возникновения аварийной (чрезвычайной) ситуации на данном объекте [9–13].

На стадии идентификации опасностей на опасном производственном объекте следует выявить ключевые источники происхождения вероятных инцидентов и аварий на опасном производственном объекте, а также общетиповые сценарии развития аварии на рассматриваемом опасном производственном объекте в соответствии с Приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

В таблице 1 представлен перечень определяющих факторов и возможных причин, служащих инструментом возникновения и развития аварий при осуществлении технологических операций с серой на ЗАО «Усть-Донецкий порт».

Таблица 1

Перечень определяющих факторов и возможных причин, служащих инструментом возникновения и развития аварий при обращении с серой

Наименование технологического блока	Факторы, способствующие возникновению и развитию аварийных ситуаций	Возможные причины аварийных ситуаций
Площадка погрузки/выгрузки серы из ж/д вагона	1. Большое количество серы, выгружаемой из ж/д вагона создает опасность образования повышенного количества взрывоопасной сернистой пыли. 2. При образовании большого количества взрывоопасной серной пыли может возникнуть опасность взрыва, возгорание серы, вовлечение дополнительных масс пожароопасного вещества в очаг пожара, цепное развитие аварии.	1. Ошибки личного состава при ведении технологических операций (погрузки, выгрузки). 2. Постороннее несанкционированное вмешательство. 3. Внешнее влияние природного и техногенного характера. 4. Террористические проявления.
Площадка погрузки/выгрузки серы на судно вагона	1. Большое количество серы, выгружаемой из ж/д вагона создает опасность образования повышенного количества взрывоопасной сернистой пыли. 2. При образовании большого количества взрывоопасной серной пыли может возникнуть опасность взрыва, возгорание серы, вовлечение дополнительных масс пожароопасного вещества в очаг пожара, цепное развитие аварии.	1. Ошибки персонала при ведении технологического процесса (погрузки, выгрузки). 2. Постороннее несанкционированное вмешательство. 3. Внешнее влияние природного и техногенного характера. 4. Террористические проявления.
Склад хранения серы	1. Большой объем серы, хранящейся на складе, создает угрозу возгорания.	1. Ошибки персонала при ведении технологического процесса (погрузка/выгрузка), ремонтных и профилактических работах. 2. Постороннее несанкционированное вмешательство. 3. Внешнее влияние природного и техногенного характера. 4. Террористические проявления.

Таким образом, среди причин возникновения опасности при перегрузочном процессе можно обозначить перегружаемый груз, перегрузочное оборудование, технологический процесс, человеческий фактор и метеорологические условия. Также хочется указать на то, что ошибки при ведении технологического процесса погрузки/выгрузки на производственном объекте могут являться не только причиной возникновения и развития аварийных ситуаций, но и причиной загрязнения компонентов окружающей среды: атмосферного воздуха, почвы, эксплуатируемого водного объекта и приводит к возникновению экологического ущерба.

Оценка риска возникновения аварийных ситуаций. Оценка вероятности реализации сценария развития аварии на складе хранения серы проведена на основании обобщенных среднестатистических данных частот отказов (разгерметизации) производственного оборудования с учетом количества единиц оборудования, находящегося в стадии эксплуатации с использованием метода анализа «дерево событий» по РД 03–357–00 «Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта» (рис. 1). Вероятность реализации сценария аварийной ситуации рассчитываем путем последовательного умножения частоты исходного события на относительную вероятность промежуточных стадий развития аварии до конечного события.

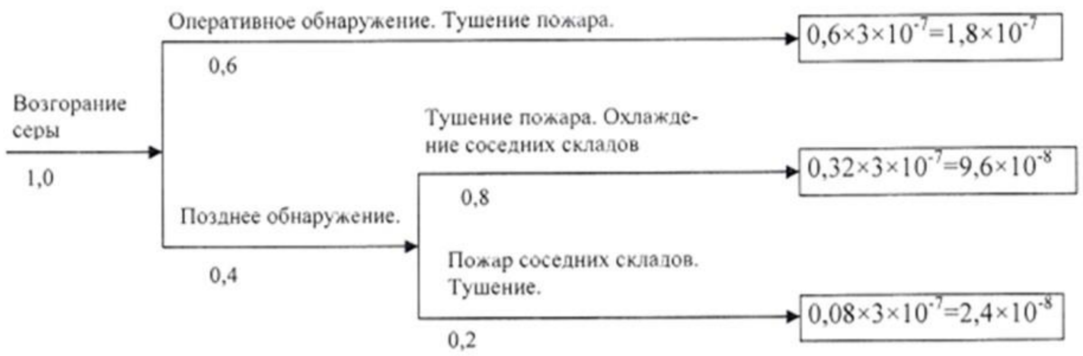


Рис. 1. «Дерево событий» возможного развития аварийных ситуаций при возникновении аварии с участием серы

Результаты оценки вероятности реализации сценария развития аварии на складе хранения серы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значение частоты, инициирующей событие

Тип отказа оборудования	**Вероятность отказа (инцидента)**	**Вероятность реализации сценария аварийной ситуации**
Вероятность возгорания	3×10^{-7}	$2,4 \times 10^{-8}$

Оценку риска возникновения аварийных ситуаций при обращении с серой на АО «Усть-Донецкий порт» необходимо провести для наиболее опасных сценариев развития чрезвычайных ситуаций, одним из которых является: наличие постороннего источника тепла на складе хранения серы — пожар — поражение рабочей смены.

Согласно ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Пожарная безопасность технологических процессов» при аварии на производственном объекте поражающим фактором является опасное тепловое воздействие пожара.

Наиболее опасным сценарием аварии (сценарий № 1) на складе хранения серы является: возгорание серы от открытого источника огня — позднее обнаружение возгорания — возгорание прилегающих складов, тушение прилегающих складов. Вероятность сценария № 1 на складе хранения серы — $2,4\times10^{-8}$ год$^{-1}$.

Наиболее вероятным сценарием аварии (сценарий № 2) является: возгорание серы от открытого источника огня — оперативное обнаружение возгорания, тушение пожара. Вероятность сценария № 2 на складе хранения серы — $1,8\times10^{-7}$ год$^{-1}$.

Определение показателей опасности объекта производится для предположительного варианта реализации чрезвычайной ситуации, развивающейся по самому неблагоприятному сценарию. Необходимо отметить, что, несмотря на научную обоснованность качественных и количественных оценок риска чрезвычайных ситуаций, они являются вероятностными по своему содержанию и в реальном случае не в полной мере могут соответствовать действительности, поскольку методика рассматривает в упрощенной форме обобщенный вариант. Согласно «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС РФ № 404 от 10.07.2009 г., величина потенциального пожарного риска P(a) (год$^{-1}$) в определенной точке (a) как на территории производственного объекта, так и на прилегающей к объекту территории определяются с помощью соотношения (1):

$$P(a) = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj}\,(a) Q_j, \qquad (1)$$

где J — число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров) (ветвей логического дерева событий); Q_{dj} (a) — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварию событию; Q_j — частота реализации в течение года j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, год$^{-1}$.

Величина индивидуального риска R_m для работника m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле (2):

$$\boldsymbol{R_m = \sum_{i=1}^{I} q_{im} P(i)}, \qquad (2)$$

где P(i) — величина потенциального риска в i-ой области территории объекта, год$^{-1}$; q_{im} — вероятность присутствия работника m в i-ой области территории объекта.

Возможный полный ущерб при аварии на опасном производственном объекте определяется прямыми потерями, издержками на локализацию и устранение последствий аварии, социально-экономическими потерями в результате гибели и травматизма людей и экологическим ущербом по РД 03–496–02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварии на опасных производственных объектах» (рис. 2). В результате аварии — пожара на складе хранения — будут повреждены здания и сооружения склада, произойдет потеря серы, что повлечёт за собой нанесение вреда атмосферному воздуху, как компоненту окружающей среды. Также возможны материальные потери, связанные с травматизмом людей. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.



Рис. 2. Схема расчета величины возможного полного ущерба при аварии на опасном производственном объекте

Таблица 3

Результаты расчета риска возникновения пожара на складах хранения серы

Место возникновения аварии	**Вероятность отказа (инцидента) год$^{-1}$**	**Вероятность аварии, год$^{-1}$**	**Потенциальный пожарный риск, год$^{-1}$**	**Индивидуальный риск работника на складе серы, год$^{-1}$**	**Предположительная величина ущерба, тыс. руб**
Склады хранения серы	3×10^{-7}	$2{,}4\times10^{-8}$	9×10^{-7}	$2{,}7\times10^{-7}$	3100

По результатам расчетов вероятность реализации аварийной ситуации для наиболее опасного сценария составляет $2{,}4\times10^{-8}$ год$^{-1}$, величина потенциального пожарного риска на складе хранения серы — 9×10^{-7} год$^{-1}$, величина индивидуального риска работника на складе серы — $2{,}7\times10^{-7}$ год$^{-1}$. Это, согласно документу «Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций», утвержденного Первым заместителем Министра РФ по делам гражданской обороны чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 09.01.2008 № 1-4-60-9, соответствует зоне приемлемого риска. Однако для исключения (минимизации) возможности возникновения ЧС на складах хранения серы требуется внедрение современных технических средств производства, инновационных технологий и дополнительных организационных мероприятий, таких как:

— осуществление производственного контроля за выполнением требований промышленной безопасности в соответствии с утвержденными нормативно-правовыми актами;

— проведение тренировок и проверок готовности работающих смен к действиям по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций;

— своевременная очистка от мусора и травы территорий объекта и к нему прилегающих;

— внедрение рекомендаций в соответствии с «Информационно-техническим справочником по наилучшим доступным технологиям» от 17.04.2019 № 46-2019 Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов).

Выводы. Таким образом, задача минимизации негативного воздействия производственной деятельности АО «Усть-Донецкий порт» на окружающую среду возможна в случае разработки комплекса природоохранных мероприятий и мер производственной безопасности, необходимых при организации транзитной обработки грузов, а именно рациональных методов перевалки грузов, а также совершенствования технологии их обработки. Для исключения возможности возникновения чрезвычайных ситуаций требуется внедрение современных технических средств производства, инновационных технологий и дополнительных организационных мероприятий.

Библиографический список

1. Бардышев, О. А. Обеспечение безопасности при перевалке сыпучих грузов в новых морских терминалах в России / О. А. Бардышев А. О. Бардышев // ВЕСТНИК МАНЭБ. — 2019. — Т. 24, № 1. — С. 5–11.

2. Гончарова, Н. В. Обзор современного состояния технического оснащения речных терминалов России / Н. В. Гончарова // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек : тр. 19-го Междунар. науч.-пром. форума «Великие реки-2018». — Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2018. — Вып. 7. — 6 с.

3. Современные проблемы безопасности : учебное пособие / Б. Ч. Месхи, Л. Е. Пустовая, И. В. Богданова, С. А. Хлебунов. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2011. — 137 с.

4. Пустовая, Л. Е. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учебное пособие / Л. Е. Пустовая, Б. Ч. Месхи. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2008. — 218 с.

5. Raanan, R., Robert B. Gunier, John R. Balmes, Alyssa J. Beltran, Kim G. Harley, Bradman A., Eskenazi B. Elemental Sulfur Use and Associations with Pediatric Lung Function and Respiratory Symptoms in an Agricultural Community (California, USA). Environmental Health Perspectives. 2017, vol. 125, No. 8, pp. 087007-1 - 087007-8. https://doi.org/10.1289/EHP528

6. Jiangshi Zhang, Peihui Xu, Longhao Sun, Wenyue Zhang, Jianghong Jin Factors influencing and a statistical method for describing dust explosion parameters: A review. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018, vol. 56, p. 386–401. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.09.005

7. YuYanqiu, Fan Jianchuna Research on explosion characteristics of sulfur dust and risk control of the explosion. Procedia Engineering. 2014, vol. 84, pp. 449–459. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.455

8. Min-Chi Wei, Yu-Chi Cheng, Yong-Ye Lin, Wen-Kai Kuo, Chi-Min Shu Applications of dust explosion hazard and disaster prevention technology. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020, vol. 68, p. 104304. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104304

9. Есипов, Ю. В. Методы расчета показателей безопасности и риска : учебное пособие / Ю. В. Есипови, Л. Е. Пустовая, А. И. Черемисин. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2016. — 87 с.

10. Соловьева, В. Г. К вопросу об управлении рисками современного речного порта / В. Г. Соловьева // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. — 2012. — № 3 (31). — С. 59–66.

11. Хорошун, Э. Г. Разработка методики оценивания границ приемлемого профессионального риска / Э. Г. Хорошун, Н. Я. Самчук-Хабарова, Ю. В. Есипов // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 6. — С. 86–89. 10.24000/0409-2961-2019-6-86-89.

12. Кухта, А. И. Комплексный метод оценки степени профессиональных рисков на предприятии / А. И. Кухта, Н. С. Маматченко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2019. — № 1. — С. 18–27. 10.23947/2541-9129-2019-1-18-27

13. Есипов, Ю. В. Применение логико-возможностного метода для экспресс-оценки вероятности происшествия в многофакторной технической системе сталелитейного цеха / Ю. В. Есипов, Е. В. Щекина, В. В. Масленский // Безопасность техногенных и природных систем. — 2018. — № 3–4. — С. 52–63. 10.23947/2541-9129-2018-3-4-53-62

Сдана в редакцию 16.03.2021
Запланирована в номер 14.04.2021

Об авторах:

Пустовая Лариса Евгеньевна, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат химических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3146-9819, lapus1@yandex.ru

Чебышева Валерия Андреевна, магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5417-2092, chebysheva.valery@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Л. Е. Пустовая — научное руководство, формирование основной концепции, анализ результатов исследований, доработка текста, формирование выводов; В. А. Чебышева — сбор исходных данных, формирование цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, разработка рекомендаций.

Submitted 16.03.2021
Scheduled in the issue 14.04.2021

Authors:

Pustovaya, Larisa E., Associate Professor, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand. Sci,, Aassociate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3146-9819, lapus1@yandex.ru

Chebysheva, Valeriya A., Master’s degree student, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5417-2092, chebysheva.valery@mail.ru

Contribution of the authors:

L. E. Pustovaya — scientific supervision, formulation of the main concept, analysis of the research results, revision of the text, formulation of the conclusions; V. A. Chebysheva — collection of the initial data, formulation of the goal and objectives of the study, calculations, preparation of the text, development of the recommendations.